

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

УДК 621.436:526

В. Л. ГОРОБЕЦЬ¹, В. В. КОВАЛЕНКО^{2*}

¹Каф. «Безпека життєдіяльності», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 793 19 08, ел. пошта vgor5650@gmail.com, ORCID 0000-0002-6537-7461

^{2*}Каф. «Безпека життєдіяльності», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (050) 489 07 72, ел. пошта kovalenkovv@upp.diit.edu.ua, ORCID 0000-0002-1196-7730

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИЧИН ПЕРЕДЧАСНОГО РУЙНУВАННЯ КОЛІНЧАСТОГО ВАЛА ТЕПЛОВОЗА 2ТЕ116

Мета. Робота спрямована на виявлення причин передчасного руйнування колінчастого вала дизеля тепловоза 2ТЕ116. **Методика.** Застосовані макроструктурний, фрактографічний, аналітичний аналізи. Вони дозволили виявити причини передчасного руйнування вала. **Результати.** У цій роботі предметом дослідження є не тільки структурний стан та властивості матеріалу вала, а й хімічні властивості навколишнього середовища, робочої рідини та стан робочої документації з експлуатації означеного тепловоза. Проведені дослідження показали: 1) невідповідність ударної в'язкості матеріалу колінчастого вала вимогам відповідного стандарту; 2) наявність у хімічному складі мастила більше ніж на 17 % дизельного палива, що значно підвищує коефіцієнт тертя в робочому механізмі за рахунок утворення нагару, ділянок зчеплень та пітингової корозії металу; 3) вирвані сторінки робочого журналу доводять, що експлуатаційні служби намагалися приховати неналежне використання та догляд за робочими механізмами дизеля тепловоза 2ТЕ116. **Наукова новизна.** У роботі застосовано комплексний аналітичний і технічний підхід до виявлення причин передчасного руйнування колінчастого вала тепловоза 2ТЕ116. Оцінено максимальну кількість факторів, які могли вплинути на передчасне руйнування колінчастого вала. Показано, що сукупність факторів, які негативно вплинули на експлуатаційні характеристики колінчастого вала, досягла так званої «критичної маси», що неминуче викликало руйнування. Упровадження додаткових факторів сигналізації (окрім шумового фактора у процесі роботи дизеля з мастилом, засміченим більш ніж на 17 % дизельним паливом) та контролю несправностей у роботі подібних великих механічних агрегатів дозволить додатково дисциплінувати машиністів і слюсарів під час виконання інструкцій для попередження руйнування конструкцій локомотивів. **Практична значимість.** Дослідження підтвердили важливість контролю за хімічним складом і механічними характеристиками відповідальних деталей і конструкцій рухомого складу. Доведено необхідність періодичного контролю хімічного складу мастила. Нагляд за акуратним веденням робочого журналу може попередити руйнування конструкцій рухомого складу, які мають високу вартість.

Ключові слова: дизель; тепловоз 2ТЕ116; мастило; передчасне руйнування; колінчастий вал; механічні характеристики

Вступ

Для проведення досліджень імовірної причини зламу колінчастого вала дизеля Д49 тепловоза 2ТЕ116, на підставі металографічної експертизи зразків вала колінчастого Д49, фрактографічної оцінки зламу, аналізу хімічного складу матеріалу, досліджень відпрацьованого

масла та механічних випробувань металу, наданих ПрАТ «Дніпропетровський тепловозоремонтний завод», використано теоретичні оцінки результатів випробувань, технічні відмітки в робочому журналі експлуатації тепловоза 2ТЕ116, розроблено рекомендації з подальшої експлуатації колінчастих валів дизельних двигунів Д49.

Мета

Робота спрямована на виявлення причин передчасного руйнування колінчастого вала дизеля Д49, якості матеріалу та умов експлуатації.

Об'єктом дослідження є вал № 01-354 дизеля типу Д49, виготовлений 30.05.91, і встановлений на локомотив 2ТЕ116 № 969, фотокопії сторінок робочого журналу тепловоза 2ТЕ116, звіт, наданий ПрАТ «ДТРЗ», про металографічні та механічні випробування металу шийки зламаного колінчастого вала, хімічний аналіз мастила М–14Г2. Пробіг тепловоза з цим валом після капітального ремонту склав 56 735 км (лист ПрАТ «ДТРЗ» від 24.04.2017, вих. № 15–01/221).

Методика

У роботі застосовано макроскопічні, фрактографічні методи дослідження структури злому, аналітичні дослідження робочої документації, хімічні дослідження складу мастила дизеля.

Результати

Колінчастий вал належить до числа найбільш напружених і дорогих деталей двигуна. Його вартість складає 30 % від вартості всього двигуна.

У процесі роботи двигуна колінчастий вал навантажується силами тиску газів, а також силами інерції деталей, що рухаються зворотно-поступально та обертаються. Ці сили викликають значні напруження кручення, вигину й обертальні коливання, внаслідок чого шийки вала зазнають змінного навантаження, яке викликає значну роботу тертя і знос шийок. Тому колінчастий вал повинен мати високу міцність, жорсткість і зносостійкість поверхонь, які труться при відносно невеликій масі, що складає не більше 15 % маси двигуна. Колінчастий вал може бути виготовлений з якісної легованої сталі куванням або штампуванням, а також литтям.

Колінчастий вал тепловозного дизеля типу Д49 має 10 кореневих і 8 шатунних шийок, що розташовані під кутом 90° одна до одної. Між 9-ю і 10-ю кореневими шийками встановлюється шестерня приводу газорозподільного механізму дизеля. До щік вала за допомогою шпильок і гайок кріпляться противаги. Отвори корене-

вих шийок з'єднані каналами з шатунними шийками, по яких подається мастило. Дев'ята коренева шийка має упорні бурти, що захищають колінчастий вал від переміщення. Від температурних навантажень колінчастий вал може видовжуватися від 9-ї кореневої шийки до першої. Фланець відбору міцності з'єднується пластинчастою муфтою з тяговим генератором; до фланця з протилежної сторони кріпиться комбінований антивібратор.

В умовах експлуатації високі знако-змінні навантаження від вигину й обертальних коливань можуть призвести до руйнування вала. Цьому також сприяють дефекти, які часто виникають під час виготовлення вала (литтям або в процесі механічної обробки). Підвищені механічні напруження вала можуть з'являтися в результаті порушення його врівноваженості, а також у разі неправильного регулювання антивібратора або зносу його вантажів і пальців. Стирання шийки вала може виникнути внаслідок погіршення подачі на її поверхню мастила, його розрідження через потрапляння в нього дизельного палива (у нашому випадку близько 17 % від об'єму мастила). У разі неправильної укладки вала в постелі блока або неправильного його центрування з валом тягового генератора виникає пружний вигин вала. У результаті неправильного шліфування корневих шийок під час ремонту, а також від дії напружень може виникнути залишковий вигин.

Основними несправностями колінчастих валів є: наднормативне зношування шийок; тріщини і злами; викришування, корозія і знос бабітової заливки вкладишів; зношування вкладишів і втрата торцевого натягу; тріщини кришок корневих підшипників [1–2, 4–7, 10–11, 13, 14].

Виготовлення поковок із легованої сталі для валів дизельних двигунів за державними стандартами вимагає контролю якості і механічних характеристик заготовок і готових виробів на всіх стадіях виробництва:

- контроль металургійної якості поковок для виробництва валів;
- контроль макро- та мікроструктури металу;
- контроль механічних властивостей металу готового продукту на відповідність нормативним документам [3, 8, 9].

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

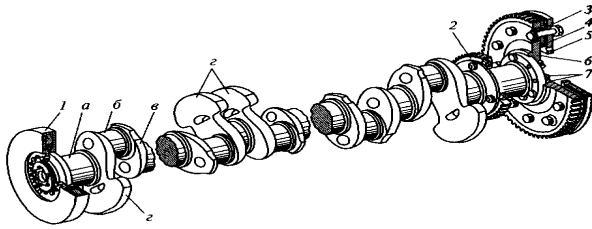


Рис. 1. Колінчастий вал дизеля 1А-5Д49:
1 – антивібратор; 2 – шестерня; 3 – сухар;
4 – пакет пластин; 5, 6 – диски дизель-генераторної муфти; 7 – напрямні кільця; а – корінна шийка; б – шатунна шийка; в – щічка; г – протіваги

Fig. 1. The crankshaft of diesel 1A-5D49: 1 – impulse neutralizer; 2 – gear; 3 – collet; 4 – wafer pack; 5, 6 – diesel-generator coupling disks; 7 – guiding rings; a – main journal; b – crank pin; c – cheek; g – counterweights

Загальний вигляд дизеля Д49 представлено на рис. 2.

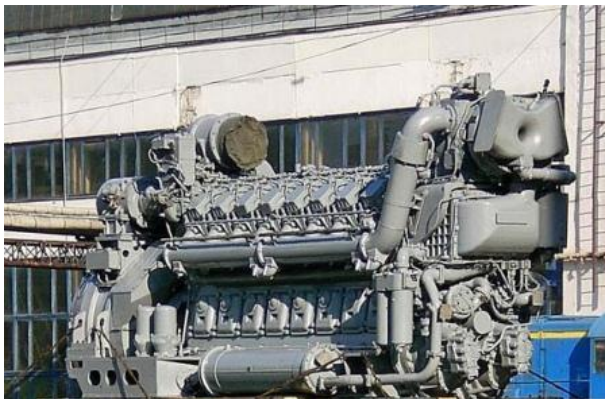


Рис. 2. Загальний вигляд дизеля Д49

Fig. 2. General view of diesel D49

Результати визначення хімічного складу матеріалу вала і хімічний склад сталі DIN 30CrMoV9, наданий ПрАТ «ДТРЗ», що нормується за стандартами Євросоюзу, наведені в табл. 1.

Результати випробувань механічних властивостей матеріалу, проведених в ЦЗЛ (центральної заводській лабораторії), акредитованій лабораторії ДП «Завод ім. В. О. Малишева» м. Харків, і механічні властивості сталі DIN 30CrMoV9 відповідно до вимог стандарту Євросоюзу, наведені в табл. 2.

Таблиця 1

Table 1

Хімічний склад колінчастого вала фактичний та за вимогами стандартів

Chemical composition of the crankshaft, the actual one and according to the requirements of the standards

Вміст елементів % масовий									
Зразки	C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S	Mo	V
експериментальний зразок	0,34	0,46	0,37	2,60	0,38	0,015	0,013	0,19	0,12
DIN EN 10083-2 (2006), DIN17200(1987)	0,26 – 0,34	0,40 – 0,70	≤ 0,40	2,30 – 2,70	≤ 0,60	≤ 0,035	≤ 0,035	0,15 – 0,25	0,10 – 0,20

Таблиця 2

Table 2

Механічні характеристики сталі колінчастого вала фактичні та за вимогами стандартів

The mechanical characteristics of the crankshaft steel, the actual ones and according to the requirements of the standards

Умовн. № зраз.	σ_b , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	φ , %	KCU, кгс·м/с ² м ²
01	764,4	627,2	20,0	64,0	16,9
02	774,2	637,0	20,0	64,0	16,0
DIN EN 10083-2 (2006), DIN17200(1987) Ø17 – 40 мм	980 – 1180	785	≥ 11	≥ 45	≥ 41,0

Твердість матеріалу вала, що зазнав за нормативною технічною документацією такої термічної обробки: відпалювання за температури 680–720 °С, нормалізацію за температури 880–920 °С, гартування в мастилі за температури 860–900 °С, відпускання за температури 540–580 °С, визначена по всьому перерізу надісланій шийки і складає 235–241 НВ за максима-

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

льної твердості, визначеної стандартом, DIN EN 10083-2 (2006), DIN17200 (1987) – 248 HB [8-9].

Твердість, що визначена на різних ділянках поверхні по всьому колу шийки, складає 407–494 HV, 603–857 HV, 286–396 HV. Відзначається, що під час замірів твердості за методом Віккерса на поверхні шийки частина відбитків «провалювала», а частина відбитків «розтріскувала» поверхню.

Мікроструктура матеріалу вала як на поверхні, так і далеко від неї однакова і представляє собою сорбіт із дуже незначною кількістю фериту.

За макро- і мікроструктурою азотований шар на поверхні даної шийки не виявлений через підвищений знос поверхні. Під час дослідження мікроструктури встановлено, що процес зношування і наклепування робочої поверхні шийки колінчастого вала супроводжувався значними структурними змінами. У зоні глибиною до 0,2–0,3 мм від зовнішньої поверхні вала за аналізом мікроструктури виявлено поверхневий шар зі слідами перегріву, зношування, руйнування, схоплювання та течії металу, налипання і проникнення в матеріал вала робочого шару вкладишів, початкові мікротріщини.

На поверхні шийки вала виявлені потовщення границь зерен металу, що свідчить про перегрів поверхневого шару. Руйнування поверхневого шару починається із тріщин по границях зерен і призводить до викришування. У цих структурних зонах виникли початкові ділянки втомного руйнування.

Метал шийки колінчастого вала, за макро-структурою протравлених темплетів, щільний. Ознак усадочних раковин, розшарування, флокенів, тріщин, скупчення неметалічних включень (засмічень) не спостерігається.

«Свіжий» злам матеріалу вала дрібнозернистий, без наявності кам'янистості та різко вираженої шаруватості.

Параметри шорсткості робочої поверхні шийки колінчастого вала – Ra 3,6, що відповідає 5-му класу.

Хімічний аналіз мастила М-14Г2, яке було застосовано для роботи дизеля, показав наявність забруднення продуктами зносу підшипників або їх корозії (табл. 3).

Таблиця 3

Table 3

Вміст у мастилі М-14Г2 продуктів зносу та корозії**The content of wear and corrosion products in the lubrication M-14G2**

Хімічний елемент	Одиниця вимірювання	Показник
Fe	mg/kg	4
Cr	mg/kg	1
Sn	mg/kg	3
Al	mg/kg	3
Ni	mg/kg	0
Cu	mg/kg	17
Pb	mg/kg	15
Mn	mg/kg	1
Індекс PQ		35

Найбільша кількість елементів видалена з бабітових підшипників та сталі колінчастого вала (Fe, Cu, Pb).

Спостерігається забруднення мастила найбільш небезпечною кількістю дизельного палива > 17 %, якого зовсім не має бути у складі мастила (табл. 4).

Таблиця 4

Table 4

Забруднення у складі мастила М-14Г2**Contamination in content of lubrication M-14G2**

Речовина	Одиниця виміру	Показник
Si	mg/kg	10
K	mg/kg	2
Na	mg/kg	11
Li	mg/kg	3
Вода	%	< 0.10
ІР гліколь	–	негативна
Дизельне паливо	%	17,01
Біодизельне паливо	%	0,30
Вміст сажі	%	1,1

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

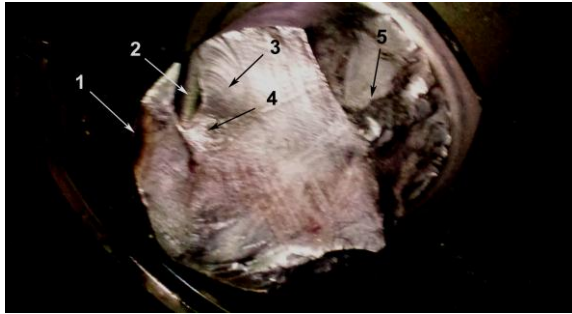
Згідно з дослідженнями авторів [1-2, 4-7, 10-16], змащувальні властивості мастила, а також його забрудненість значно впливає на ефективність та безаварійність роботи дизеля.

Аналіз наданої для експертизи інформації показує, що в якості причини руйнування вала

дизеля тепловоза 2ТЕ116 № 969 може розглядатися втомне руйнування внаслідок попереднього руйнування частини шатунного вкладиша відповідної позиції.

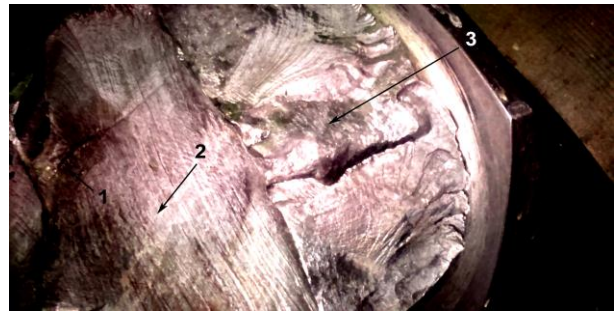
Характерні фрагменти поверхні руйнування наведено на рис. 3.

a – a



- 1 – зона локального термічного впливу;
2 – маслопровідний канал; 3 – ділянка послідовного втомного руйнування від місця 4 біля маслопровідного каналу;
4 біля маслопровідного каналу;
5 – зони швидкого доламу вала
- 1 – zone of local thermal influence; 2 – oil passage;
3 – a section of consecutive fatigue fracture from the place 4 near the oil passage;
5 – section of quick shaft break

б – б



- 1 – тріщиноподібний дефект;
2 – область послідовного втомного руйнування металу вала; 3 – зони доламу вала
- 1 – crack-like defect; 2 – section of consecutive fatigue destruction of the crankshaft metal;
3 – crankshaft break section

в – в



- 1 – тріщиноподібний дефект із фрагментом крихкого руйнування
- 1 – crack-like defect with the brittle fracture fragment

Рис. 3. Характерні фрагменти поверхні руйнування колінчастого вала

Fig. 3. Typical fragments of the crankshaft destruction surface

З огляду на відсутність дефектів металу за даними технічного звіту, наданого ПрАТ «ДТРЗ», тріщиноподібний дефект 1 (рис. 2, в), який має невелику ділянку крихкого руйнуван-

ня, розташований перпендикулярно до основного напрямку втомного руйнування 2 (рис. 2, б).

Тріщиноподібний дефект 1 (рис. 2, в) з ділянкою крихкого руйнування міг з'явитися

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

в умовах зниженої ударної в'язкості внаслідок серії ударних навантажень після часткового руйнування шатунного вкладиша. Тоді концентратор напружень, що обов'язково виникає в перенапруженій зоні між дефектом та маслопровідним каналом 2 (рис. 2, а), стає джерелом розповсюдження втомної тріщини. При цьому фрагменти зруйнованого вкладиша циркулювали певний час у системі змащення (рис. 4).

Слід відзначити, що в процесі роботи дизельного двигуна з пошкодженим поршневым вкладишем обов'язково виникають удари, під час фіксації яких дизель мав бути негайно зупинений.

Ураховуючи викладене, найбільш вірогідною причиною руйнування колінчастого вала можна вважати пошкодження та руйнування шатунного вкладиша тепловоза 2ТЕ116 № 969 з наступним втомним руйнуванням самого вала.



Рис. 4. Фрагменти зруйнованого вкладиша на сітці грубої очистки дизеля

Fig. 4. Fragments of the destroyed thrust bearing on the primary refining grid of the diesel

Руйнуванню та розплавленню шатунного вкладиша сприяло зниження змащувальних властивостей дизельного мастила за рахунок високої концентрації в ньому дизельного палива.

Для попередження руйнування вкладиша та колінчастого вала загалом на ранніх етапах формування тріщин автори пропонують ввести додаткову систему сигналізації та контролю за виявленням пошкоджень шляхом ідентифікації нагріву агрегата або його складових частин до температури, вищої за визначену критичну температуру для даної ділянки.

Наукова новизна та практична значимість

Науковою новизною даної роботи є пропозиція впровадження додаткових сигнальних та контрольних систем для попередження руйнування локомотива на ранніх стадіях розвитку несправностей, внесення вимог додаткового технічного огляду системи попередження руйнування дизелів локомотивів. Проведені дослідження дозволяють рекомендувати:

1. Неухильно дотримуватися технічних вимог щодо експлуатації дизеля Д49.

2. У регламентні роботи з технічного діагностування тягового рухомого складу для продовження строку його експлуатації [3, 5] одноразово внести додаткові роботи з діагностування температурного стану дизелів на перегрівання шляхом контролю стану зразків легкоплавких сплавів, розташованих на доступних для огляду деталях конструкції дизелю. Указані заходи допоможуть попередити передчасний вихід із ладу дизельних двигунів тепловозів.

Висновки

Проведені дослідження дозволяють зробити наступні висновки:

1. Концентрація палива в мастилі колінчастого вала значно підвищена, у зв'язку з чим знижена в'язкість мастила та його змащувальні властивості.

2. Виплавлення бабітового шару та руйнування вкладишів, елементи яких частково були вимиті мастилом, сталося за рахунок підвищення температури у вузлах тертя дизеля.

3. Викришунані та частково виплавлені вкладиші забезпечили биття та додаткове тертя у вузлах дизеля, що також сприяло підвищенню температури і збільшувало навантаження вала.

4. Структурна неоднорідність колінчастого вала обумовила низькі характеристики матеріалу під час випробувань на ударну в'язкість.

5. Ускладнення умов роботи колінчастого вала разом з структурною неоднорідністю матеріалу викликало первинні тріщини та подальше втомне руйнування.

6. Основною причиною руйнування металу вала є перегрів у роботі дизеля, спричинений наявністю більше ніж 17 % палива в мастилі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Клименко, О. М. Оптимізація техніко-економічних показників автомобільного дизеля з використанням функції бажаності Харінгтона / О. М. Клименко, В. О. Пильов, І. М. Шульга // Вісник Нац. техн. ун-ту «ХПІ» : зб. наук. пр. Темат. вип. : Транспортне машинобудування. – Харків, 2015. – № 43 (1152). – С. 30–32.
2. Пожидаєв, І. Г. Проектування ПНВТ для акумуляторної паливної системи малолітражного дизеля на базі паливного насоса двигуна 2ДТ / І. Г. Пожидаєв, А. О. Прохоренко // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Транспортне машинобудування : зб. наук. пр. – Харків, 2014. – № 14 (1057). – С. 89–95.
3. Положення про планово-попереджувальну систему ремонту і технічного обслуговування тягового рухомого складу (електровозів, тепловозів, електро та дизель-поїздів) : Наказ М-ва трансп. та зв'язку України від 30.06.2010 р. № 093. – Київ : Укрзалізниця, 2010. – 25 с.
4. Розвиток методів зміцнення найбільш навантажених деталей – шлях до підвищення технічних і тактико-технічних характеристик машин / М. А. Ткачук, С. О. Кравченко, В. В. Шпаковський, М. Л. Белов, О. І. Шейко, В. І. Демиденко // Вісник Нац. техн. ун-ту «ХПІ». Серія: Транспортне машинобудування : зб. наук. пр. – Харків, 2015. – № 43 (1152). – С. 116–122.
5. Тепловозные дизели типа Д49 / Е. А. Никитин, В. М. Ширяев, В. Г. Быков [и др.] ; под ред. Е. А. Никитина. – Москва : Транспорт, 1982. – 255 с.
6. Триньов, О. В. Перспективи поліпшення теплового стану деталей клапанного вузла дизеля з використанням локального охолодження / О. В. Триньов, В. Г. Панчошний // Вісн. Нац. техн. ун-ту «ХПІ». Серія: Транспортне машинобудування : зб. наук. пр. – Харків, 2015. – № 43 (1152). – С. 144–150.
7. Azadi, M. Corrosion Failure Study in an Oil Cooler Heat Exchanger in Marine Diesel Engine / M. Azadi, M. Azadi // International Journal of Engineering. – 2016. – Vol. 29. – Iss. 11. – P. 1604–1611. doi: 10.5829/idosi.ije.2016.29.11b.15
8. BS EN 10250-3:2000. Open die steel forgings for general engineering purposes. Part 3: Alloy special steels Brussels. – London, 1999. – 16 p.
9. DIN EN 10083-2. Steels for quenching and tempering. Part 3: Technical delivery conditions for alloy steels. – Berlin, 2006. – 58 p.
10. Froelund, K. Lubricating Oil Consumption Measurements on an EMD 16-645E Locomotive Diesel Engine / Kent Froelund, Steve Fritz, Brian Smith // Design, Application, Performance and Emissions of Modern Internal Combustion Engine Systems and Components : Conference Paper (Salzburg, Austria, May 11–13, 2003). – Salzburg, 2003. – P. 361–368. doi: 10.1115/ices2003-0549
11. Multibody Dynamics Model of a Diesel Engine and Timing Gear Train with Experimental Validation / A. D. Foltz, T. M. Wasfy, Erik Ostergaard, Ilya Piraner // ASME 2016 International Mechanical Engineering Congress and Exposition (Phoenix, Arizona, USA, November 11–17, 2016). – Phoenix, 2016. – Vol. 4B : Dynamics, Vibration, and Control. – P. 4–22. doi: 10.1115/imece2016-65900
12. Priebisch, H. H. Simulation of the Oil Film Behaviour in Elastic Engine Bearings Considering Pressure and Temperature Dependent Oil Viscosity / H. H. Priebisch, J. Krasser // Tribology Series. – 1997. – Vol. 32. – P. 651–659. doi: 10.1016/S0167-8922(08)70490-5
13. Sequera, A. J. Effects of fuel injection timing in the combustion of biofuels in a diesel engine at partial loads / A. J. Sequera, R. N. Parthasarathy, S. R. Gollahall // Journal of Energy Resources Technology. – 2011. – Vol. 133. – Iss. 2. doi: 10.1115/1.4003808
14. Sevast'yanov, S. I. Adsorption and corrosion activity of diesel oils / S. I. Sevast'yanov // Soviet Materials Science. – 1968. – Vol. 3. – Iss. 6. – P. 493–497. doi: 10.1007/bf01156409
15. Wong, V. W. Overview of automotive engine friction and reduction trends—Effects of surface, material, and lubricant-additive technologies / V. W. Wong, S. C. Tung // Friction. – 2016. – Vol. 4. – Iss. 1. – P. 1–28. doi: 10.1007/s40544-016-0107-9
16. Zammit, J-P. Thermal coupling and energy flows between coolant, engine structure and lubricating oil during engine warm up / J-P Zammit, P. J. Shayler, I. Pegg // Vehicle Thermal Management Systems Conference and Exhibition (VTMS10). – Sawston : Woodhead Publishing, 2011. – P. 177–188. doi: 10.1533/9780857095053.3.177

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

В. Л. ГОРОБЕЦ¹, В. В. КОВАЛЕНКО^{2*}

¹Каф. «Безопасность жизнедеятельности», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днипро, Украина, 49010, тел. +38 (056) 793 19 08, эл. почта v-gorobets@mail.ru, ORCID 0000-0002-6537-7461

^{2*}Каф. «Безопасность жизнедеятельности», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днипро, Украина, 49010, тел. +38 (050) 489 07 72, эл. почта kovalenkovv@upp.diit.edu.ua, ORCID 0000-0002-1196-7730

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЧИН ПРЕЖДЕВРЕМЕННОГО РАЗРУШЕНИЯ КОЛЕНЧАТОГО ВАЛА ТЕПЛОВОЗА 2ТЭ116

Цель. Работа направлена на выявление причин преждевременного разрушения коленчатого вала тепловоза 2ТЭ116. **Методика.** Применены макроструктурный, фрактографический, аналитический анализы. Они позволили выявить причины преждевременного разрушения вала. **Результаты.** В данной работе предметом исследования является не только структурное состояние и свойства материала вала, а и химические свойства окружающей среды, рабочей жидкости и состояние рабочей документации по эксплуатации указанного тепловоза. Проведенные в работе исследования показали: 1) несоответствие ударной вязкости материала коленчатого вала требованиям соответствующего стандарта; 2) наличие в химическом составе масла более 17 % дизельного топлива, что значительно повышает коэффициент трения в рабочем механизме за счет образования нагара, областей сцеплений и питтинговую коррозию металла. **Научная новизна.** В работе применен комплексный аналитический и технический подход к выявлению причин преждевременного разрушения коленчатого вала тепловоза 2ТЭ116. Оценено максимальное количество факторов, которые могли повлиять на преждевременное разрушение коленчатого вала. Показано, что совокупность факторов, негативно повлиявших на эксплуатационные характеристики коленчатого вала, достигла так называемой «критической массы», что неизбежно вызвало разрушения. Внедрение дополнительных факторов сигнализации (кроме шумового фактора в процессе работы дизеля с маслом, загрязненным более чем на 17 % дизельным топливом) и контроля неисправностей в работе подобных крупных механических агрегатов позволит дополнительно дисциплинировать машинистов и слесарей при выполнении работ по инструкциям для предупреждения разрушения больших конструкций локомотивов. **Практическая значимость.** Исследования подтвердили важность контроля над химическим составом и механическими характеристиками деталей и конструкций подвижного состава. Показана необходимость периодического контроля химического состава масла. Надзор за аккуратным ведением рабочего журнала может предупредить разрушение ценных конструкций подвижного состава.

Ключевые слова: дизель; тепловоз 2ТЭ116; масло; преждевременное разрушение; коленчатый вал; механические характеристики

V. L. HOROBETS¹, V. V. KOVALENKO²

¹Dep. «Life Safety», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 793 19 08, e-mail v-gorobets@mail.ru, ORCID 0000-0002-6537-7461

²Dep. «Life Safety», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (050) 489 07 72, e-mail kovalenkovv@upp.diit.edu.ua, ORCID 0000-0002-1196-7730

INVESTIGATION OF PREMATURE DESTRUCTION CAUSES OF LOCOMOTIVE 2TE116 CRANKSHAFT

Purpose. The work is aimed at identifying the causes of premature destruction of the locomotive 2TE116 crankshaft. **Methodology.** Macrostructural, fractographic, and analytical analyses have been used to identify the causes of premature destruction of the shaft. **Findings.** In this work, the subject of the study is not only the structural state and properties of the shaft material, but also the chemical properties of the environment, the working fluid and the state of the working documentation for the locomotive operation. The research carried out in the work showed: 1) the non-conformity of the impact viscosity of the crankshaft material to the requirements of the relevant standard; 2) the presence of more than 17% of diesel fuel in the chemical composition of oil, which significantly increases the

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

friction coefficient in the working mechanism due to the formation of carbon deposit, the areas of adhesion and pitting corrosion of the metal. **Originality.** A comprehensive analytical and technical approach for identification of premature destruction causes of the locomotive 2TE116 crankshaft was used in the work. The maximum number of factors that could influence the premature destruction of the crankshaft were estimated. It was shown that the combination of factors that negatively influenced the performance characteristics of the crankshaft has reached the so-called «critical mass», which inevitably caused the destruction. Introduction of additional signaling factors (in addition to the noise factor during the operation of the diesel engine with oil contaminated by diesel fuel more than 17%) and fault monitoring in the operation of such large mechanical aggregates will additionally discipline locomotive drivers and mechanics when working on instructions for warning destruction of large locomotive structures. **Practical value.** The studies confirmed the importance of controlling the chemical composition and mechanical characteristics of rolling stock components and constructions. The need for periodic control of the oil chemical composition is shown. Supervision over the careful keeping of work book can prevent the destruction of valuable structures of rolling stock.

Keywords: diesel engine; diesel locomotive 2TE116; oil; premature destruction; crankshaft; mechanical characteristics

REFERENCES

1. Klymenko, O. M., Pylov, V. O., & Shulha, I. M. (2015). Optymizatsiia tekhniko-ekonomichnykh pokaznykiv avtomobilnoho dyzelia z vykorystanniam funktsii bazhanosti Kharinhona. *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu «KhPI» : zbirnyk naukovykh prats. Tematychnyi vypusk: Transportne mashynobuduvannia*, 43 (1152), 30-32. (in Ukrainian)
2. Pozhydaiev, I. H., & Prokhorenko, A. O. (2014). Proektuvannia PNVT dlia akumuliatornoj palyvnoi systemy malolitrazhnoho dyzelia na bazi palyvnoho nasosa dvyhuna 2DT. *Visnyk Natsionalnoho Tekhnichnoho Universytetu «KhPI». Serii: Transportne mashynobuduvannia : zbirnyk naukovykh prats*, 14 (1057), 89-95. (in Ukrainian)
3. Polozhennia pro planovo-poperedzhuvalnu systemu remontu i tekhnichnoho obsluhovuvannia tiahovoho rukhomoho skladu (elektrovoziv, teplovoziv, elektro ta dyzel-poizdiv) : Nakaz Ministerstva transportu ta zviazku Ukrainy vid 30.06.2010 r. № 093. (in Ukrainian)
4. Tkachuk, M. A., Kravchenko, S. O., Shpakovskyi, V. V., Bielov, M. L., Sheiko, O. I., & Demydenko, V. I. (2015). Rozvytok metodiv zmitsnennia naibilsh navantazhenykh detalei - shliakh do pidvyshchennia tekhnichnykh i taktyko-tekhnichnykh kharakterystyk mashyn. *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu «KhPI». Serii: Transportne mashynobuduvannia : zbirnyk naukovykh prats*, 43(1152), 116-122. (in Ukrainian)
5. Nikitin, Y. A., Shiryayev, V. M., & Bykov, V. G. (1982). *Teplovozyne dizeli tipa D49*. Moscow: Transport. (in Russian)
6. Trynov, O. V., & Panchoshnyi, V. H. (2015). Perspektyvy polipshennia teplovoho stanu detalei klapannoho vuzla dyzelia z vykorystanniam lokalnoho okholodzhennia. *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu «KhPI». Serii: Transportne mashynobuduvannia : zbirnyk naukovykh prats*, 43(1152), 144-150. (in Ukrainian)
7. Azadi, M. (2016). Corrosion failure study in an oil cooler heat exchanger in marine diesel engine. *International Journal of Engineering, Transactions B: Applications*, 29 (11), 1604-1611. doi: 10.5829/idosi.ije.2016.29.11b.15 (in English)
8. Open die steel forgings for general engineering purposes D Part 3: Alloy special steels Brussels. BS EN 10250-3:2000 (1999). (in English)
9. Steels for quenching and tempering – Part 3: Technical delivery conditions for alloy steels. DIN EN 10083-2 (2006). (in English)
10. Froelund, K., Frits, S., & Smith, B. (2003). Lubricating Oil Consumption Measurements on an EMD 16-645E Locomotive Diesel Engine. *Design, Application, Performance and Emissions of Modern Internal Combustion Engine Systems and Components: Conference Paper (Salzburg, Austria, May 11–13, 2003)*, 361-368. doi: 10.1115/ices2003-0549 (in English)
11. Foltz, A. D., Wasfy, T. M., Ostergaard, E., & Piraner, I. (2016). Multibody Dynamics Model of a Diesel Engine and Timing Gear Train with Experimental Validation. *ASME 2016 International Mechanical Engineering Congress and Exposition (Phoenix, Arizona, USA, November 11–17, 2016)*, 4B: Dynamics, Vibration, and Control, 4-22. doi: 10.1115/imece2016-65900 (in English)

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

12. Priebisch, H. H., & Krasser, J. (1997). Simulation of the Oil Film Behaviour in Elastic Engine Bearings Considering Pressure and Temperature Dependent Oil Viscosity. *Tribology Series*, 32, 651-659. doi: 10.1016/S0167-8922(08)70490-5 (in English)
13. Sequera, A. J., Parthasarathy, R. N., & Gollahall, S. R. (2011). Effects of fuel injection timing in the combustion of biofuels in a diesel engine at partial loads. *Journal of Energy Resources Technology*, 133(2). doi: 10.1115/1.4003808 (in English)
14. Sevast'yanov, S. I. (1968). Adsorption and corrosion activity of diesel oils. *Soviet Materials Science*, 3(6), 493-497. doi: 10.1007/bf01156409 (in English)
15. Wong, V. W., & Tung, S. C. (2016). Overview of automotive engine friction and reduction trends—Effects of surface, material, and lubricant-additive technologies. *Friction*, 4(1), 1-28. doi: 10.1007/s40544-016-0107-9 (in English)
16. Zammit, J-P., Shayler, P. J., & Pegg, I. (2011). Thermal coupling and energy flows between coolant, engine structure and lubricating oil during engine warm up. *Vehicle Thermal Management Systems Conference and Exhibition (VTMS10)*, 177-188. doi: 10.1533/9780857095053.3.177 (in English)

Надійшла до редколегії: 23.04.2018

Прийнята до друку: 20.07.2018